

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 1999 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

04488319 **Image available**
LASER TREATMENT METHOD

PUB. NO.: **06-132219** [JP 6132219 A]

PUBLISHED: May 13, 1994 (19940513)

INVENTOR(s): CHIYOU KOUYUU

APPLICANT(s): SEMICONDUCTOR ENERGY LAB CO LTD [470730] (A Japanese
Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.: 04-307797 [JP 92307797]

FILED: October 21, 1992 (19921021)

ABSTRACT

PURPOSE: To improve a laser treatment method for stably obtaining required characteristics by providing two laser devices and a trigger pulse oscillation circuit so that the laser devices can be driven in synchronization.

CONSTITUTION: Two laser devices are interlocked and are used as an oscillator 1 and an amplifier 2. Then, the amplifier 2 is excited in 15nsec after the oscillator 1 is excited. In both the oscillator 1 and the amplifier 2, application voltage is set to 37kV. The width of an obtained pulse waveform is approximately 35nsec. Also, the energy per pulse is 1.1J. In this manner, when an output laser beam enlarged by a lens etc., an energy density is set to 250-350mJ/cm(sup 2) (preferably, 280-320mJ /cm(sup 2)), and five shots of laser beams are applied to a silicon film, the improvement in the crystallizability of the silicon film can be recognized.

(19)日本国特許庁 (J P) , (12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-132219

(43)公開日 平成 6 年(1994) 5 月13日

| | | | | |
|--------------------------|------|---------|-----------------|--------|
| (51)Int.Cl. ⁵ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
| H 0 1 L 21/20 | | 9171-4M | | |
| 21/265 | | | | |
| 21/268 | Z | 8617-4M | | |
| | | 8617-4M | H 0 1 L 21/ 265 | B |

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-307797

(22)出願日 平成 4 年(1992)10月21日

(71)出願人 000153878

株式会社半導体エネルギー研究所

神奈川県厚木市長谷398番地

(72)発明者 張 宏勇

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半

導体エネルギー研究所内

(54)【発明の名称】 レーザー処理方法

(57)【要約】

【目的】 パルスレーザーを用いたレーザーアニール等のレーザー処理方法に関して、歩留り、再現性、良好な特性が安定に得られるための方法を提供する。

【構成】 パルス幅を30 nsec以上とすることによって、レーザー処理を安定におこなえる。パルス幅を30 nsecとするためには、複数のレーザーを用いて、これを直列あるいは並列に接続し、同期をずらすことによって成就する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 発振器として機能するレーザー装置と、増幅器として機能する少なくとも1段のレーザー装置と、これらのレーザー装置を発振・励起するためのトリガーパルス発振回路が設けられ、前記発振器および前記増幅器はそれぞれケーブルによってトリガーパルス発振回路と接続されている装置において、前記発振器のレーザーパルスのパルス幅を w とすると、発振器を発振させてから、 $0.5w \sim 5w$ 後に増幅器を励起することによって生じたレーザーパルス光を、物体に照射することを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項2】 請求項1において、レーザー装置は、エキシマーレーザーであることを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項3】 請求項1において、レーザーパルスが照射される物体はアモルファスもしくはそれと同程度の結晶性の低い半導体であることを特徴とするレーザー処理方法。

【請求項4】 請求項3において、レーザーパルスが照射される物体は水素を1体積%以上含むアモルファスもしくはそれと同程度の結晶性の低いシリコンを主成分とする半導体であることを特徴とするレーザー処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、信頼性および量産性に優れ、ばらつきが小さく、歩留りの高いレーザーアニール方法等のレーザー照射による加工方法に関する。特に、本発明は、アモルファスもしくはそれに近い結晶性の低い状態の半導体材料、金属材料、絶縁体材料や、イオン照射、イオン注入、イオンドーピング等によってダメージを受け、結晶性が著しく損なわれた各種材料のレーザーアニール方法、もしくは、レーザー照射に伴う加熱によって、不純物元素のドーピングをおこなう方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、半導体素子プロセスの低温化に関して盛んに研究が進められている。その理由の1つは、ガラス等の絶縁基板上に、あるいは半導体基板上に絶縁被膜を形成した上に半導体素子を形成する必要性が生じたからである。これらの半導体素子の形成には、熱的な処理が必要とされていた。例えば、アモルファス状態もしくはそれと同等な結晶性の低い状態の半導体被膜を熱によって結晶化させることや、絶縁膜や半導体膜中の不対電子（ダングリングボンド）等を減らすために熱処理をおこなうことには、 1000°C 程度の熱処理が必要とされた。

【0003】 しかしながら、ガラス基板上に素子を形成するのであれば、ガラス基板がそのような高温の熱処理に耐える必要があり、また、半導体等の基板上にさらに半導体素子を立体的に形成する場合にも、下層の素子が

低熔点金属の配線を有していれば高温処理は不可能であった。

【0004】 このような場合に、レーザー照射によって、局部的に必要とする高温状態をつくり出し、基板や他の配線にダメージを与えない処理方法（レーザーアニールを含む）は究極の低温プロセスと注目されている。特に、 $1\mu\text{sec}$ 以下の短パルスのレーザー光の照射では、熱の伝導によって他の部分に影響が出ることがほとんどないため理想的である。なかでも、エキシマーレーザーは、紫外光であるので多くの材料に効率よく吸収されることと大きなエネルギーが得られることから最も実用的であると考えられていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来、レーザー処理の条件は極めて難しいとされ、その結果、レーザー処理技術は非常にばらつきが大きくて、充分な信頼性が得られず、到底実用化には到らないとされていた。本発明の目的は、従来のレーザー処理方法を改善することによって、安定して必要とする特性が得られるレーザー処理技術を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明のレーザー処理装置の例は、図1に示すように、少なくとも2段のレーザー装置、すなわち、発振器1と少なくとも1段の増幅器2からなり、これらのレーザー装置は同期して駆動するようにトリガーパルス発振回路（もしくは、それと同等な機能を有して、レーザー装置を制御する回路）3が設けられている。そして、発振器1と増幅器2は、それぞれケーブル10、11によってトリガーパルス発振回路3と接続されている。

【0007】 各レーザー装置には、放電電極やフラッシュランプ等の励起装置4、5が設けられており、トリガーパルス回路からの信号によって、放電したり、発光したりし、レーザー媒体を励起するようになっている。このような構成を有する装置において、発振器1のミラー6は全反射ミラーであり、また、ミラー7はハーフミラーである。この1対のミラーによって、レーザー媒体の内部で発生したコヒーレント光の一部が共振し、増幅される。図においては、発振器のレーザー共振器は半共焦点型が示されているが、それ以外にも、平行平板型であっても、共焦点型であっても、不安定形であってもよい。増幅器の共振器についても同様であるが、増幅器では帰還率を下げる必要がある。帰還率が大きければ、レーザー媒体を励起することによって、自発的に発振してしまうからである。

【0008】 一方、増幅器2の光学素子8、9はハーフミラーもしくは通常の透明な材料で、主として発振器から導かれたレーザー光を透過する必要がある。増幅器2では、発振器で発生したレーザー光が増幅される。

【0009】 従来、このような装置においては、発振器

1と増幅器2とがほぼ同時に、すなわち、レーザーパルス幅（以下、特に断らない場合は、パルス幅は、パルスの半値幅（FWHM）のことである。）の1/2以下の同期ずれ（エキシマーレーザーでは典型的には10ns以下）で励起された。このような同期方法では、得られるレーザーパルスは単発のパルス高（最大パワー）の大きなビームであった。すなわち、図2（D）に示すように、発振器で発生したレーザーパルスが増幅器でそのまま増幅された。最終的なパルス高は、発振器の出力に増幅器の増幅利得を乗じて得られるものであった。

【0010】図3には各種レーザーパルスの形状およびそれらのレーザーパルスが照射された物体表面における温度変化の概念図が示されているが、従来の同期方法によって得られるレーザーパルスは図中にて実曲線AおよびCで示される。そして、その結果の温度変化は、それぞれ、点曲線B、Dで示される。パルスAはパルスCよりもパルス高は高いが、パルス幅はほとんど同じ（ $t_1 \approx t_3$ ）であった。

【0011】しかしながら、これらのパルスを用いて物体表面を処理するには別の条件も考慮せねばならなかった。例えば、アモルファスシリコンをレーザー照射によって結晶化させる場合には、レーザー照射による温度上昇が不十分でも、また、過剰であっても充分な特性が得られなかった。また、最適な温度の持続時間が短すぎていけなかった。

【0012】例えば、パルスAの場合には、パルス高が高いので温度上昇が大きい。したがって、結晶化に最低限必要な温度（点鎖線）の持続時間は t_2 と、よりパルス高の低いパルスCよりも長い。しかしながら、その時間の多くの部分で結晶化最適温度の上限を越えている。このような条件では、加熱によって溶融状態となり、結晶化は、溶融状態から結晶化最適温度に達するまでの短い時間にしか起こらない。結局、実質的な結晶化のための時間はごく短い。

【0013】一方、パルスCでは、パルス高が低いので被照射面が溶融状態となることはないが、結晶化最適温度帯にある時間 t_4 は短い。

【0014】理想的には、パルス高を結晶化最適温度帯の中にあるようにし、かつ、その間にある時間を長くするために、パルス幅を長くすることが有効である。アモルファス状態やそれに近い結晶性の低い状態のシリコンの結晶化には、パルス幅は30ns以上、可能であれば100ns以上であることが望まれる。パルス高は、パワー密度を光学素子によって増減することによって調節することができる。しかし、パルス幅はレーザー固有のものであるのでこれを増減させることは難しい。わずかに電極の構造を変える等の工夫によって放電状態を変更することによってのみ可能である。

【0015】この問題を解決するために、本発明では、発振器と増幅器の同期をずらすことによって複数のパル

スの混合した状態をつくり出し、実質的にパルス幅が長くなるようにする。同期のずれは、パルス幅の0.5～5倍が適当であった。

【0016】図2を用いて、本発明の原理を説明する。まず、図2（A）に示すように、発振器にのみトリガーパルスを印加する。この結果、発振器内にレーザー光が発生し、それが増幅器の方へ進行する。しかし、増幅器にはトリガーパルスが印加されていないので、増幅器のレーザー媒体は励起状態でなく、したがって、増幅器に進入したレーザー光は増幅されることなく、増幅器を透過する。特に、レーザー媒体として、希ガスダイマーエキシマー、あるいは希ガスハライドエキシマーを用いた場合には、これらのエキシマーの基底状態は存在しないので、発振器から侵入した光はほとんど吸収を受けないで（減衰しないで）レーザー媒体の中を進行するので都合がよい。出力は図3の実曲線Eのように立ち上がり、aの点で極大となる。

【0017】しばらくすると、発振器内で共振していたレーザー光は減衰する。そして、この状態で増幅器へ進入したレーザー光もやはり増幅器をそのまま透過する（図2（B））。そして、図3の点曲線E上の点bで、図2（C）に示すようにトリガーパルスを増幅器のみに印加すると、発振器に残っていた弱いレーザー光は、増幅器で増幅されて、図3の点曲線E上の点cで極大となる。

【0018】この結果、レーザーパルスは二こぶ状のものとなり、実質的なレーザーパルス幅は図中に t_5 に示される長いものとなる。また、その結果、被照射面の温度も図3の点曲線Fに示されるような挙動を示し、結晶化最適温度帯にある時間を長くすることができる。

【0019】レーザーパルスの形状は、同期のずれの程度や発振器と増幅器の励起の強度によって比較的自由に変更できる。図4にはその例を示す。図4（a）は、従来におこなわれたように発振器と増幅器の同期をほぼ同じとした場合であり、パルス高の高い単パルスである。

【0020】発振器を発振させてから、レーザーパルス幅の時間が経過した後に増幅器を励起した場合は図4

（b）に示される。また、発振器を発振させてから、レーザーパルス幅の約2倍の時間が経過した後に増幅器を励起した場合は図4（c）に示される。

【0021】また、発振器の励起を弱く、増幅器の励起を強くし、発振器を発振させてから、レーザーパルス幅の約2倍の時間が経過した後に増幅器を励起した場合は図4（d）に示される。このようなパルスでは、最初の小さなパルスで、比較的能量を必要としない処理をおこない、次の大きなパルスで大エネルギーを必要とする処理をおこなう。例えば、水素を多量に含んだアモルファスシリコン膜を結晶化させるには、最初から大きなエネルギーのレーザーを照射すると、含まれている水素が急激に膨張して、膜が破壊されるので、最初は弱い

エネルギーのレーザー照射によって水素を抜き、その後、結晶化に十分なエネルギーのパルスを照射して結晶化をおこなう必要がある。従来は、この工程を２段階のパルス照射によっておこなっていたが、本発明では図４（ｄ）のようなパルスを作製して用いることによって、１段階のレーザー照射で成し遂げることができる。

【００２２】以上の例は２段のレーザー装置を使用した場合であるが、３段のレーザー装置を使用した場合には図４（ｅ）のようになる。より多段のレーザー装置を接続することによって、実質的なパルス幅をさらに長くすることができる。本発明のレーザー処理方法の第２の例は、図５に示されるような複数のレーザー装置（発振器として機能する）が並列に設置されたものを用い、これらのレーザー装置の励起・発振の同期を調整することによって、レーザーパルスの形状を図４の（ａ）～（ｅ）のように任意に変更することによって、実質的なパルス幅を最適なものとするものである。

【００２３】すなわち、図５では３つのレーザー発振器５２、５３、５４が並列に設けられ、これらの出力ビームはミラー５８、５９、６０等で１つに収束させられて、被照射面に照射される。各レーザー装置は、トリガーパルス発振回路等の制御装置５１とケーブル５５、５６、５７によって接続され、その発振のタイミングが制御される。

【００２４】この方式では、各レーザーは独立に発振するので、レーザーパルスを複数の離散したものとする 것도可能である。その例を図６に示す。例えば、各パルスの間隔は、図６のように一定の時間 Δt で全て等しくしてもよいし、異なるようにしてもよい。図６において、実曲線はパルスのエネルギーの変化を、点曲線は被照射面の温度変化をそれぞれ示す。特に、被照射面を 250°C 以上に保った状態で、 $\Delta t = 50 \sim 200 \text{ nsec}$ で、レーザー照射をおこなうと、被照射面の温度は、極めて長い間、 $500 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ の間に保たれる。しかしながら、この方法では複数のレーザー光を１本に収束しなければならず、特に、高エネルギー光を使用するため、ハーフミラー５９等の設計が難しい。

【００２５】本発明においては、レーザー装置としては、量産性が優れたものが好ましく、例えば、Nd:YAGレーザー（ $1.06 \mu\text{m}$ ）、炭酸ガスレーザー（赤外光）、エキシマーレーザー（紫外光）等がよい。これらのレーザーの選択にあたっては、被照射面の各レーザー光に対する吸収係数等を考慮して選択すればよい。エキシマーレーザーとしては、 Ar_2 レーザー（ 126 nm ）、 Kr_2 レーザー（ 146 nm ）、 Xe_2 レーザー（ 172 nm ）、 ArF レーザー（ 193 nm ）、 KrCl レーザー（ 222 nm ）、 KrF レーザー（ 248 nm ）、 XeCl レーザー（ 308 nm ）、 XeF レーザー（ 351 nm ）等が使用できる。

【００２６】一般に、エキシマーレーザーは本来のパル

ス幅が小さいが、これはレーザー媒体であるエキシマーの寿命が短いためである。すなわち、エキシマーから基底状態への遷移は紫外光領域であるので、非常にエネルギーが高い。励起状態の寿命は他の条件が同じであれば、遷移エネルギーの３乗に比例する。したがって、波長の短いレーザーほどパルス幅が短くなる傾向がある。しかし、このことは逆に、長波長のエキシマーレーザーではパルス幅が長くなるということでもある。例えば、 XeF レーザーでは、上記の理由からパルス幅が大きい（ 40 nsec 程度）ので、本発明によって、実質的なパルス幅をさらに増加させることが可能であり、より一層、良好な効果を得ることができる。しかしながら、発振波長が長くなるので使用条件は制約を受ける。

【００２７】

【実施例】【実施例１】絶縁基板（コーニング７０５９ガラス）上に、スパッタ法によって厚さ 100 nm の酸化珪素膜を形成し、さらに、ジシラン（ Si_2H_6 ）を原料として、減圧CVD法によってシリコン膜を、厚さ $50 \sim 80 \text{ nm}$ 堆積した。この成膜過程において、基板温度は 450°C とした。得られたシリコン膜は多数の微結晶領域の存在する結晶性の低い膜であった。また、水素濃度は $0.5 \sim 5\%$ であった。

【００２８】この被膜に本発明のレーザー照射をおこなって、結晶性のよいシリコン膜とした。レーザーとしては、 KrF エキシマーレーザーを使用した。単独で使った場合のレーザーパルスの幅は 17 nsec であった。このレーザー装置を２台連結して、発振器と増幅器とした。そして、発振器を励起してから、 15 nsec 後に増幅器を励起した。発振器、増幅器とも印加電圧は 37 kV と等しくした。得られたパルスの波形は図４（Ｃ）に示されるものとほぼ同じでパルス幅は約 35 nsec であった。また、１パルスあたりのエネルギーは 1.1 J であった。このようにして出力されたレーザー光をレンズ等で拡大して、エネルギー密度を $250 \sim 350 \text{ mJ/cm}^2$ 、好ましくは $280 \sim 320 \text{ mJ/cm}^2$ として、前記シリコン膜に５ショット照射したところ、シリコン膜の結晶性が向上したことが認められた。このようにして作製したシリコン膜を用いて、薄膜トランジスタを作製して、高い電界移動度（ $150 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上）が得られた。

【００２９】なお、本実施例では、レーザー照射時の基板温度は室温としたが、特願平４－ 100479 （平成４年３月２６日出願）に記述されているように、基板を $250 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 、好ましくは $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 程度に加熱しておくことにより容易に効果を得ることができる。

【００３０】【実施例２】絶縁基板（コーニング７０５９ガラス）上に、スパッタ法によって厚さ 100 nm の酸化珪素膜を形成し、さらに、モノシラン（ SiH_4 ）を原料として、減圧CVD法によってシリコン膜を、厚さ $50 \sim 80 \text{ nm}$ 堆積した。この成膜過程におい

て、基板温度は250℃とした。得られたシリコン膜はアモルファス状態の膜であった。また、水素濃度は10～30%であった。

【0031】この被膜に本発明のレーザー照射をおこなって、結晶性のよいシリコン膜とした。レーザーとしては、KrFエキシマーレーザーを使用した。単独で使った場合のレーザーパルスの幅は17nsecであった。このレーザー装置を2台連結して、発振器と増幅器とした。そして、発振器を励起してから、15nsec後に増幅器を励起した。発振器、増幅器の印加電圧は、それぞれ、30kV、38kVとし、発振器から発生する初期のパルスの出力を弱く、増幅器から発生するパルス出力が大きくなるようにした。得られたパルスの波形は図4(D)に示されるものとほぼ同じで、最初のパルスの高さは、2つ目のパルスの1/4～1/2であった。また、パルス幅は約40nsecであった。また、1パルスあたりのエネルギーは650mJであった。このようにして出力されたレーザー光をレンズ等で拡大して、エネルギー密度を250～350mJ/cm²、好ましくは280～320mJ/cm²として、前記シリコン膜に5ショット照射したところ、シリコン膜の結晶性が向上したことが認められた。

【0032】通常は、水素を多量に含むシリコン膜をレーザー照射によって結晶化させる場合には、事前に400～500℃の温度で2～10時間保持するか、比較的弱い出力(100～200mJ/cm²)のレーザー光を照射して、膜中に含まれている水素を離脱させる工程を経る必要がある。しかし、本実施例では、パルスが、弱いパルスと強いパルスによって構成されているので、最初の弱いパルスによって水素離脱をおこない、直後に強いパルスによって結晶化させることができた。このようにして作製したシリコン膜を用いて、薄膜トランジスタを作製して、高い電界移動度(150cm²/Vs以上)が得られた。

【0033】【実施例3】絶縁基板(コーニング7059ガラス)上に、スパッタ法によって厚さ100nmの酸化珪素膜を形成し、さらに、モノシラン(SiH₄)を原料として、減圧CVD法によってシリコン膜を、厚さ100～150nm堆積した。この成膜過程において、基板温度は250℃とした。得られたシリコン膜はアモルファス状態の膜であった。最後に、スパッタ法によって、厚さ10～50nmの酸化珪素膜を堆積した。そして、この被膜を600℃の還元雰囲気中に24時間放置し、結晶化させた。さらに、イオンドーピング法によって2×10¹⁵cm⁻²のドーズ量でリンもしくはホウ素を注入した。この注入工程によって被膜の結晶性は劣化した。

【0034】この被膜に本発明のレーザー照射をおこなって、再結晶化させた。レーザーとしては、KrFエキシマーレーザーを使用した。単独で使った場合のレー

ザーパルスの幅は17nsecであった。このレーザー装置を2台連結して、発振器と増幅器とした。そして、発振器を励起してから、15nsec後に増幅器を励起した。発振器、増幅器の印加電圧は、いずれも、38kVとした。得られたパルスの波形は図4(C)に示されるものとほぼ同じであった。また、パルス幅は約40nsecであった。また、1パルスあたりのエネルギーは、1.1Jであった。このようにして出力されたレーザー光をレンズ等で拡大して、エネルギー密度を250～350mJ/cm²、好ましくは280～320mJ/cm²として、前記シリコン膜に5ショット照射したところ、シリコン膜の結晶性が向上したことが認められた。

【0035】同一基板上の100箇所に関して、シート抵抗を測定したところ、300Ω/□以下のシート抵抗を示すものが全体の85%、350Ω/□以下のシート抵抗を示すものが、全体の95%であった。また、全てのものがシート抵抗1kΩ/□以下であった。このことから、本実施例で、シート抵抗に関する不良を著しく低減できることが明らかになった。

【0036】【実施例4】シリコン基板(n型、抵抗率1～3Ω・cm)上に、テトラ・エトキシ・シラン

(TEOS)と酸素ガスを原料として、プラズマCVD法によって、厚さ100～150nmの酸化珪素膜を堆積した。この成膜工程において、基板温度は250℃とした。得られた酸化珪素膜中には炭素が多量(0.1～1%)に含まれており、そのままではゲイト酸化膜としては使用できないレベルのものであった。このような酸化珪素膜は600℃以上の酸化雰囲気中でアニールして炭素を離脱させることによって、ゲイト酸化膜として使用できる程度にまで界面準位密度を低減せしめることが可能である。しかし、この方法では基板として、600℃のアニールでもちぢみのないものが必要とされるが、多く使用されている無アルカリガラスは使用に耐えない。

【0037】このような方法に代わって、レーザーを照射する方法が提案されている(特願平4-252296(平成4年8月27日出願))。しかし、従来の方式では、レーザーパルスの幅が短かったために、最適な条件を再現性良く得ることが困難であった。そこで、本実施例では、本発明によって実質的にパルス幅の広がったレーザー光を照射することによって、この困難を解決できることを示す。

【0038】前記酸化珪素被膜に本発明のレーザー照射をおこなって、脱炭素をおこなった。レーザーとしては、XeFエキシマーレーザーを使用した。単独で使った場合のレーザーパルスの幅は40nsecであった。このレーザー装置を2台連結して、発振器と増幅器とした。そして、発振器を励起してから、40nsec後に増幅器を励起した。発振器、増幅器の印加電圧は、いずれも、38kVとした。得られたパルスの波形は図

4 (C) に示されるものとほぼ同じであった。また、パルス幅は約80 nsecであった。また、1パルスあたりのエネルギーは1.1 Jであった。このようにして出力されたレーザー光をレンズ等で拡大して、エネルギー密度を200~300 mJ/cm²、好ましくは250~280 mJ/cm²として、前記酸化珪素膜に5ショット照射した。

【0039】この酸化珪素膜上に、電子ビーム蒸着法によってアルミニウム電極を蒸着し、酸化珪素膜のC/V特性を測定したところ、ヒステリシスのない良好なC/V特性が得られた。また、電極と基板に150℃で+17 Vもしくは-17 Vの直流電圧を2時間印加して、C/V曲線の変動を調べたところ、シフトは±0.5 V以内であった。結果として、非常に特性の優れた酸化珪素膜を得ることができた。

【0040】【実施例5】 絶縁基板（コーニング7059ガラス）上に、スパッタ法によって厚さ100 nmの酸化珪素膜を形成し、さらに、モノシラン（SiH₄）を原料として、減圧CVD法によってシリコン膜を、厚さ100~150 nm堆積した。この成膜過程において、基板温度は250℃とした。得られたシリコン膜はアモルファス状態の膜であった。最後に、スパッタ法によって、厚さ10~50 nmの酸化珪素膜を堆積した。そして、この被膜を600℃の還元雰囲気中に24時間放置し、結晶化させ、表面の酸化珪素膜を除去した。

【0041】そして、特願平3-283981（平成3年10月4日出願）に記述されるようにこの被膜にジボランもしくはフォスフィン雰囲気中、本発明のレーザー照射をおこなって、不純物ドーピングをおこなった。レーザーとしては、KrFエキシマーレーザーを使用した。単独で使用した場合のレーザーパルスの幅は17 nsecであった。このレーザー装置を3台、図5に示すように並列に配置して、それぞれのレーザーの発振の開始を、例えば60 nsecずらして発振させた。これらのレーザーの印加電圧は、いずれも、38 kVとした。得られたパルスの波形は図6に示されるものとほぼ同じであった。このようにして出力されたレーザー光をレンズ等で拡大して、エネルギー密度を250~350 mJ/cm²、好ましくは280~320 mJ/cm²として、前記シリコン膜に5ショット照射したところ、シリコン膜にホウ素もしくはリンが不純物として拡散されたことが認められた。

【0042】同一基板上の100箇所に関して、シート抵抗を測定したところ、300 Ω/□以下のシート抵抗

を示すものが全体の80%、350 Ω/□以下のシート抵抗を示すものが、全体の90%であった。また、全てのものがシート抵抗2 kΩ/□以下であった。このことから、本実施例で、シート抵抗に関する不良を著しく低減できることが明らかになった。

【0043】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によって、従来、レーザーアニール等のレーザー処理には、非常に使いにくかったパルスレーザー装置（特にエキシマーレーザー）を使いやすくすることができた。実施例に示したように、本発明によって最適なレーザーアニール等のレーザー処理をおこない、よって、ばらつきが少なく信頼性の高い半導体膜等を得ることができた。

【0044】上記の実施例はほんの一例であり、例えば、特願平3-80800（平成3年3月18日出願）、特願平3-283981（平成3年10月4日出願）、特願平3-290719（平成3年10月8日出願）、特願平4-100479（平成4年3月26日出願）、特願平4-164303（平成4年5月29日出願）、特願平4-237763（平成4年8月12日出願）、特願平4-252296（平成4年8月27日出願）等の特許出願に記述された各種のレーザー照射技術と組み合わせると相乗的に効果を得ることができる。このように本発明は工業上、有益なものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のレーザー処理装置の概念図を示す。

【図2】（A）~（C） 本発明のレーザー処理装置の動作例を示す。

（D） 従来のレーザー処理装置の動作例を示す。

【図3】本発明および従来のレーザー処理方法で得られたレーザーパルス（実曲線）および被照射面の温度変化（点曲線）を示す。

【図4】本発明で得られるレーザーパルス等を示す。

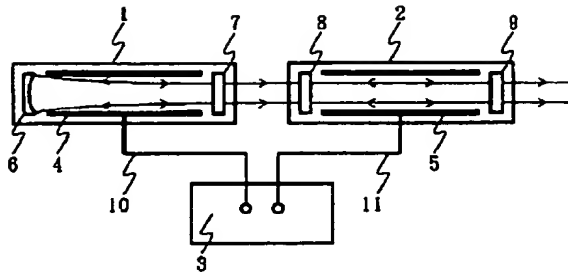
【図5】本発明のレーザー処理装置の概念図を示す。

【図6】本発明で得られるレーザーパルス例を示す。

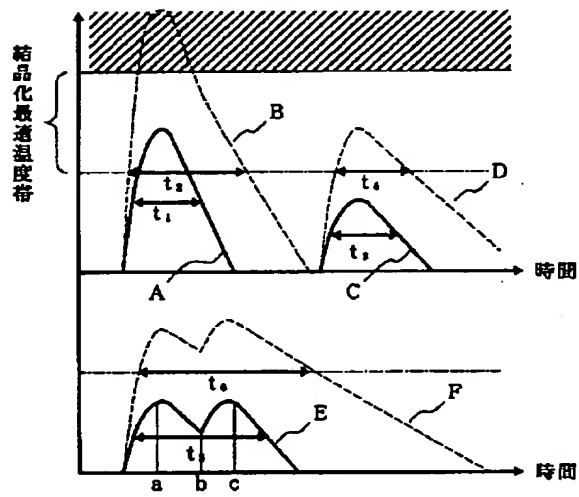
【符号の説明】

- | | |
|-------|----------------|
| 1 | レーザー装置（発振器） |
| 2 | レーザー装置（増幅器） |
| 3 | トリガーパルス発振回路 |
| 4、5 | レーザー媒体励起手段 |
| 6 | 全反射ミラー |
| 7 | ハーフミラー |
| 8、9 | ハーフミラーもしくは透明材料 |
| 10、11 | ケーブル |

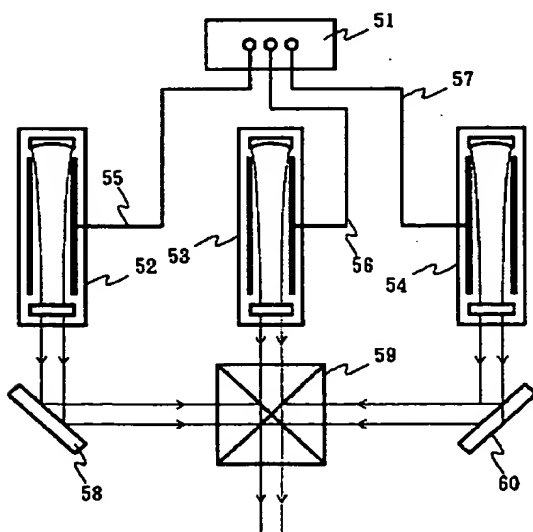
【図1】



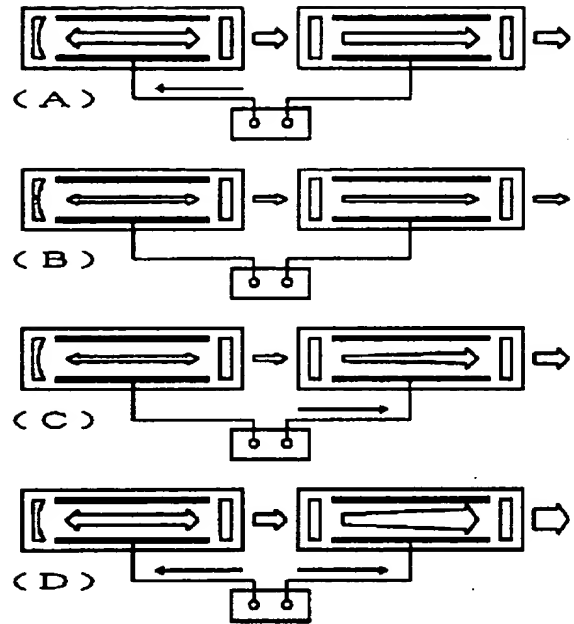
【図3】



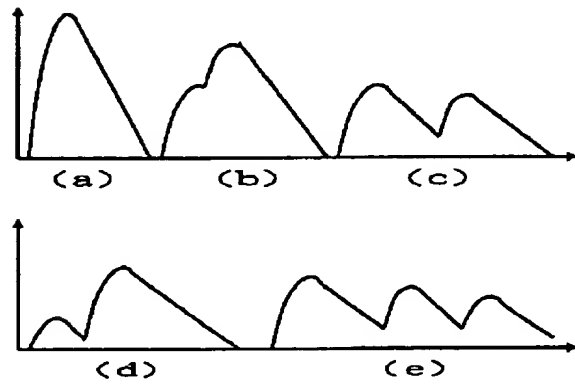
【図5】



【図2】



【図4】



【図6】

